WIKIPEDIA

Universo

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

L'universo e le sue componenti

L'**Universo** è comunemente definito come il complesso che racchiude tutto lo spazio e ciò che contiene,[1][2][3][4] cioè la materia e l'energia, i pianeti, le stelle, le galassie e il contenuto dello spazio intergalattico.[5][6]

L'osservazione scientifica dell'Universo, la cui parte osservabile ha un diametro di circa 92 miliardi di anni luce,[7] suggerisce che esso sia stato governato dalle stesse leggi e costanti fisiche per la maggior parte della sua storia e in tutta la sua estensione osservabile, e permette inferenze sulle sue fasi iniziali. La teoria del Big Bang è il più accreditato modello cosmologico che descrive la sua nascita; si calcola che tale evento sia avvenuto, visto dalla nostra cornice temporale locale, circa 13,798 ± 0,037 miliardi di anni fa.[8]

La massima distanza teoricamente osservabile è contenuta nell'universo osservabile. Osservazioni di supernove hanno dimostrato che questo, almeno nella regione contenente l'universo osservabile, sembra espandersi a un ritmo crescente, e una serie di modelli sono sorti per prevederne il destino finale. I fisici sono incerti su che cosa abbia preceduto il Big Bang; molti si rifiutano di speculare, dubitando che si potranno mai trovare informazioni relative allo stato originario. Alcuni propongono modelli di universo ciclico, altri descrivono uno stato iniziale senza confini, da cui è emerso e si è espanso lo spaziotempo al momento del Big Bang.[9] Alcune speculazioni teoriche sul multiverso di cosmologi e fisici ipotizzano che il nostro universo sia solo uno tra i molti che possono esistere.[10][11]

Indice

Etimologia, sinonimi e definizioni

Il termine *universo* deriva dal latino *universus* (tutto, intero) parola composta da *unus* (uno) e *versus* (volto, avvolto. Part. pass. di *vertere*).[12] La parola latina fu usata spesso da Cicerone e tardi autori latini con il senso posseduto oggi in italiano.[13]

La contrazione poetica *Unvorsum*, da cui deriva *universus*, fu usata per la prima volta da Tito Lucrezio Caro nel Libro IV (capoverso 262) del suo *De rerum natura* ("Sulla natura delle cose").[14] Secondo una particolare interpretazione, essa significherebbe "tutto ciò che ruota come uno" o "tutto ciò che viene ruotato da uno". In questo senso, essa può essere considerata come una traduzione da un'antica parola greca per l'universo, περιφορά (*periforá*, "circumambulazione", parola originariamente usata per descrivere il percorso del cibo, che veniva servito lungo la cerchia dei commensali).[15] περιφορά si riferiva a uno dei primi modelli greci dell'universo, quello delle sfere celesti, che secondo Aristotele erano messe in moto, per l'appunto, da un unico "essere", il cosiddetto "*Primo Mobile*" o "*Primo Motore*".

Un altro termine per "universo" nell'Antica Grecia era τὸ πᾶν (*tò pán*, si veda Il Tutto, Pan). Termini correlati erano materia (τὸ ὅλον, *tò hólon*) e luogo (τὸ κενόν, *tò kenón*).[16][17]

Altri sinonimi per universo tra i filosofi dell'antica Grecia includevano κόσμος (cosmo) e φύσις (significante Natura, e da cui deriva la parola "fisica").[18] Si ritrovano gli stessi sinonimi tra gli autori latini (*totum*, *mundus*, *natura*)[19] e infine nel linguaggio moderno, ad esempio nelle parole tedesche *Das All*, *Weltall*, e *Natur*, oltre che, naturalmente, in italiano.[20]

La definizione più ampia: realtà e probabilità

La più ampia definizione di universo la si ritrova nel *De divisione naturae* del filosofo e teologo medioevale Giovanni Scoto Eriugena, che lo definì semplicemente come il tutto: tutto ciò che è creato e tutto ciò che non è creato.

Definizione come "Realtà"

Più comunemente, l'universo è definito come tutto ciò che esiste fisicamente. Secondo le nostre attuali conoscenze, esso consiste allora di tre elementi fondamentali: spaziotempo, energia (che comprende quantità di moto e materia) e leggi fisiche.

Definizione dell'universo come spazio-tempo connesso

È possibile concepire spaziotempi disconnessi, esistenti ma incapaci di interagire l'uno con l'altro. Una metafora facilmente visualizzabile di ciò è un gruppo di bolle di sapone separate. Gli osservatori vivono all'interno di una "bolla" e non possono interagire con quelli in altre bolle di sapone, nemmeno in linea di principio. Secondo una terminologia comune, ciascuna "bolla" di spaziotempo è un universo, mentre il nostro particolare spaziotempo è indicato come "l'Universo", così come indichiamo la nostra luna come *la* "Luna". L'insieme degli spaziotempi è chiamato multiverso.[21] In linea di principio, gli altri universi disconnessi dal nostro possono avere differenti dimensionalità e topologie spazio-temporali, forme differenti di materia ed energia, diverse leggi e costanti fisiche, ma queste sono speculazioni.

La definizione più ristretta: l'universo come realtà osservabile

Universo osservabile illustrazione logaritmica

Secondo una definizione ancora più restrittiva, l'universo è tutto ciò che nello spazio-tempo connesso può interagire con noi e viceversa.

Secondo la teoria della Relatività generale, alcune regioni dello spazio non interagiranno mai con noi in tutta la durata dell'universo: l'espansione dello spazio causa l'allontanamento di queste regioni da noi a una velocità maggiore di quella della luce. Quelle regioni remote sono considerate esistenti e parte della realtà tanto quanto noi, ma non saremo mai in grado di interagire con loro. La regione spaziale nella quale possiamo influire e dalla quale essere influenzati è denotata come universo osservabile. Strettamente parlando, l'universo osservabile dipende dalla posizione dell'osservatore. Viaggiando, un osservatore può entrare in contatto con una regione di spazio-tempo più grande, e dunque il suo universo osservabile sarà più grande. Tuttavia nemmeno il più rapido dei viaggiatori potrebbe interagire con tutto lo spazio. In genere, per universo osservabile si intende l'universo osservabile dalla Via Lattea.

Storia della sua osservazione

Nel corso della storia registrata, diverse cosmologie e cosmogonie sono state proposte per spiegare le osservazioni sull'universo. I primi modelli quantitativi, geocentrici, sono stati sviluppati dai filosofi dell'Antica Grecia. Nel corso dei secoli, osservazioni più precise e teorie migliori sulla gravità hanno portato prima al modello eliocentrico di Niccolò Copernico, poi al modello del sistema solare di Isaac Newton. Ulteriori miglioramenti nel campo dell'astronomia hanno portato a comprendere come il Sistema Solare sia incorporato in una galassia composta da miliardi di stelle, la Via Lattea, e che esistono n miliardi di galassie

più o meno simili. Studi sulla loro distribuzione e sulla loro riga spettrale hanno portato alla cosmologia moderna. Le scoperte dello spostamento verso il rosso e della radiazione cosmica di fondo hanno rivelato come l'universo si stia espandendo e che forse ha avuto un inizio.

Secondo il modello scientifico prevalente dell'universo, il modello del Big Bang, l'universo si è espanso da una fase estremamente calda e densa chiamata era di Planck, in cui era concentrata tutta la materia e l'energia dell'universo osservabile. Dall'epoca di Planck, l'universo si è espanso fino alla sua forma attuale, forse con un breve periodo (meno di 10^{-32} secondi) di inflazione cosmica.

Quest'immagine ad alta risoluzione del Campo ultra profondo di Hubble mostra una gamma diversificata di galassie, ciascuna composta da miliardi di stelle. L'area equivalente di cielo che l'immagine occupa è visualizzata come una casella rossa nell'angolo in basso a sinistra. Le galassie più piccole, le più rosse, circa 100, sono alcune delle galassie più distanti che siano mai state riprese da un telescopio ottico.

Diverse misurazioni sperimentali indipendenti supportano questa teoria di espansione metrica dello spazio e, più in generale, la teoria del Big Bang. Osservazioni recenti indicano come questa espansione stia accelerando a causa dell'energia oscura, e come la maggior parte della materia nell'universo potrebbe essere in una forma non rilevabile dagli strumenti attuali, e quindi non conteggiata nei modelli dell'universo, ostacolando le nostre previsioni sul destino ultimo dell'universo.[22] Questa forma di materia è stata denominata materia oscura.[23]

Il 21 marzo 2013 la guida dei team europei di ricerca riguardanti la sonda Planck ha pubblicato la più recente mappa della radiazione cosmica di fondo del cielo.[8][24][25][26][27] La mappa suggerisce che l'universo sia un po' più vecchio di quanto si credesse. Secondo la mappa, sottili fluttuazioni di temperatura sono state impresse sul cielo profondo quando il cosmo aveva circa 370.000 anni. Tali fluttuazioni riflettono increspature sorte già nei primi 10^{-30} secondi. A quanto pare, queste increspature hanno dato luogo alla presente vasta struttura di superammassi di galassie e materia oscura. Secondo il team di Planck, l'universo ha circa 13,798 ± 0,037 miliardi anni di età,[28] ed è costituito per il 4,9% di materia ordinaria, per il 26,8% di materia oscura e per il 68,3% da energia oscura. Inoltre, la costante di Hubble è stata misurata in 67,80 ± 0,77 (km/s)/Mpc.[8][24][25][27][28]

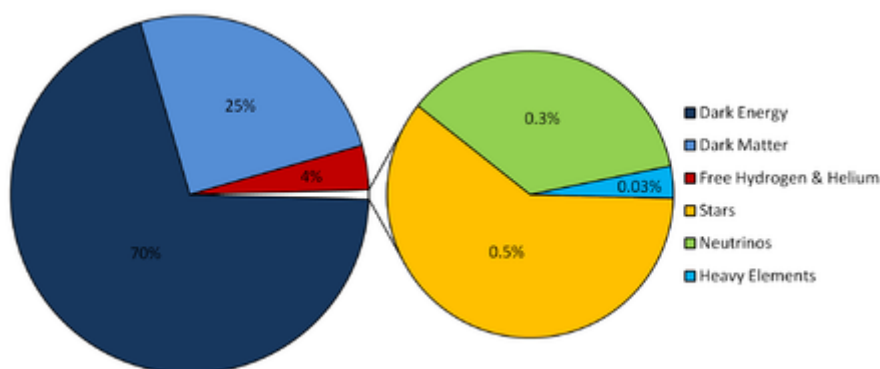
Le interpretazioni precedenti delle osservazioni astronomiche avevano indicato come l'età dell'universo fosse di 13,772 ± 0,059 miliardi di anni,[29] (mentre il disaccoppiamento della luce e della materia, si veda CMBR, avvenne 380.000 anni dopo il Big Bang), e che il diametro dell'universo osservabile è di minimo 93 miliardi di anni luce.[30] Secondo la relatività generale, lo spazio può espandersi con velocità maggiore di quella della luce, ma possiamo vederne solo una piccola porzione a causa delle limitazioni imposte dalla velocità della luce stessa. Dato che non è possibile effettuare osservazioni oltrepassando i limiti imposti dalla velocità della luce (e, in generale, di ogni radiazione elettromagnetica), non è possibile stabilire se le dimensioni dell'universo siano finite o infinite.

Dimensioni, età, contenuti, struttura e leggi

La regione dell'Universo visibile dalla Terra (l'universo osservabile) è una sfera con un raggio di circa 46 miliardi di anni luce.[7] Per confronto, il diametro di una Galassia tipica è di 30.000 anni luce, e la distanza tipica tra due galassie vicine è invece di 3 milioni di anni-luce.[31] Ad esempio, la Via Lattea ha un diametro

di circa 100.000 anni luce,[32] e la galassia più vicina a noi, Andromeda, si trova approssimativamente a 2,5 milioni di anni luce da noi.[33]

Ci sono probabilmente più di 100 miliardi (10^{11}) di galassie nell'universo osservabile,[34] seppure l'analisi dei dati dei progetti "Hubble Deep Field" e "Hubble Ultra Deep Field" abbia portato a teorizzarne un numero compreso tra i 300 e i 500 miliardi. Le galassie tipiche vanno dalle galassie nane con un minimo di dieci milioni[35] (10^7) di stelle fino alle galassie giganti con mille miliardi (10^{12}) di stelle,[36] le quali orbitano tutte attorno al centro di massa della loro galassia. Uno studio del 2010 stima il numero di stelle dell'universo osservabile in 300.000 trilioni (3×10^{23}),[37] mentre uno studio del 2016 ipotizza che il numero totale di galassie nell'universo osservabile, comprese quelle troppo piccole per essere rilevate dagli attuali telescopi, sia di 2000 miliardi ($2x10^{12}$).[38][39][40]

La materia osservabile è distribuita in maniera omogenea (*uniformemente*) in tutto l'universo, in media su distanze di più di 300 milioni di anni luce.[41] Tuttavia, su piccole scale di lunghezza, la materia si dispone in "grumi", raggruppandosi gerarchicamente: una gran quantità di atomi è presente nelle stelle, la maggior parte delle stelle si raggruppa in galassie, la maggior parte delle galassie in ammassi, superammassi di galassie e, infine, si hanno strutture a larga scala come la Grande muraglia. La materia osservabile dell'Universo è inoltre diffusa *isotropicamente*, il che significa che ogni regione del cielo ha all'incirca lo stesso contenuto.[42]

Si crede che l'universo sia per lo più composto da energia oscura e materia oscura, entrambe al momento poco conosciute. La materia ordinaria costituisce meno del 5% dell'Universo.

L'universo è inoltre immerso in una radiazione a microonde altamente isotropica, che corrisponde ad un equilibrio termico con spettro di corpo nero di circa 2,725 kelvin.[43] L'ipotesi secondo cui l'Universo sia omogeneo e isotropo su grandi scale è nota come principio cosmologico,[44] che è supportato da osservazioni astronomiche.

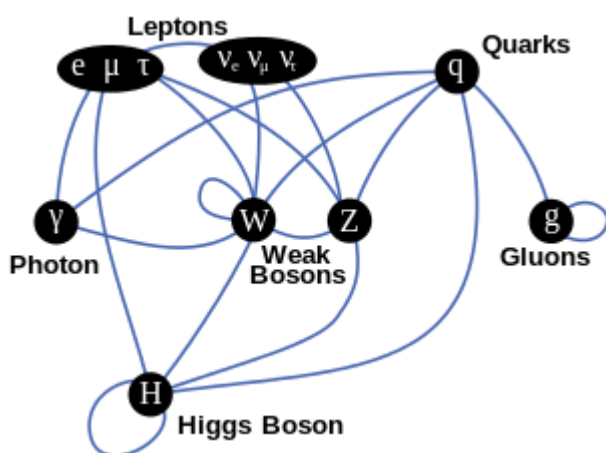
L'attuale densità globale dell'universo è molto bassa, circa $9{,}9 \times 10^{-30}$ grammi per centimetro cubo. Questa massa-energia sembra essere formata per il 68,3% da energia oscura, il 26,8% da materia oscura fredda e il 4,9% da materia ordinaria. La densità in atomi è dell'ordine di un singolo atomo di idrogeno per ogni quattro metri cubi di volume.[24][45]

Le proprietà dell'energia oscura e della materia oscura sono in gran parte sconosciute. La materia oscura interagisce con il campo gravitazionale come la materia ordinaria, e quindi rallenta l'espansione dell'universo; al contrario, l'energia oscura accelera la sua espansione.

La stima più precisa dell'età dell'universo è di 13,798 ± 0,037 miliardi di anni, calcolata sulla base delle osservazioni della radiazione cosmica di fondo condotte con la sonda PLANCK.[8] Stime indipendenti (sulla base di misurazioni come la datazione radioattiva) convergono anch'esse su 13-15 miliardi di anni.[46] L'universo non è stato lo stesso in ogni momento della sua storia; ad esempio, le popolazioni relative dei quasar e delle galassie sono cambiate e lo spazio stesso si è espanso. Questa espansione spiega come sulla Terra si possa osservare la luce proveniente da una galassia lontana 30 miliardi di anni luce, anche se la luce ha viaggiato per 13 miliardi di anni: lo spazio si è ampliato. Questa espansione è coerente con l'osservazione che la luce proveniente da galassie lontane ha subito lo spostamento verso il rosso: la lunghezza d'onda dei

fotoni emessi è stata "stirata" e dunque aumentata, con un conseguente abbassamento della loro frequenza, durante il loro viaggio. Sulla base di studi di supernovae di tipo Ia, corroborati anche da altri dati, il tasso di questa espansione spaziale è in accelerazione.

Le frazioni relative di diversi elementi chimici - in particolare degli atomi più leggeri, come idrogeno, deuterio e elio - sembrano identiche in tutto l'universo e in tutta la sua storia osservabile.[47]

L'universo sembra avere molta più materia che antimateria, un'asimmetria forse correlata alle osservazioni in merito alla violazione di CP.[48] L'universo sembra non avere nessuna carica elettrica netta, e quindi la gravità sembra essere l'interazione dominante su scale di lunghezza cosmologica. L'universo sembra non avere né un momento né un momento angolare netti. L'assenza di carica e quantità di moto nette sarebbe conseguenza di accettate leggi fisiche (la Legge di Gauss e la non-divergenza dello pseudotensore stress-energia-momento) se l'universo fosse finito.[49]

Le particelle elementari di cui è costituito l'universo. Sei leptoni e sei quark fondano la maggior parte della materia; ad esempio, i protoni e i neutroni dei nuclei atomici sono composti da quark, e l'onnipresente elettrone è un leptone. Queste particelle interagiscono tramite bosoni di Gauge, mostrati nella fila centrale, ciascuno corrispondente ad un particolare tipo di simmetria di gauge. Si ritiene che il bosone di Higgs conferisca la massa alle particelle con cui interagisce. Il gravitone, un ipotizzato bosone di gauge per la gravità, non è stato rappresentato.

L'universo sembra avere un continuum spazio-temporale liscio costituito da tre dimensioni spaziali e da una temporale. In media, le osservazioni sullo spazio tridimensionale suggeriscono che esso sia piatto, cioè abbia curvatura vicina a zero; ciò implica che la geometria euclidea è sperimentalmente vera con elevata precisione per la maggior parte dell'Universo.[50] Lo spaziotempo sembra anche avere una topologia semplicemente connessa, almeno sulla scala di lunghezza dell'universo osservabile. Tuttavia le osservazioni attuali non possono escludere la possibilità che l'universo abbia più dimensioni, e che il suo spazio-tempo possa avere una topologia globale molteplicemente connessa, in analogia con le topologie del cilindro o del toro.[51]

L'universo sembra seguire regolarmente un insieme di leggi e costanti fisiche.[52] Secondo l'attuale Modello standard della fisica, la materia è composta da tre generazioni di leptoni e quark, entrambi fermioni. Queste particelle elementari interagiscono attraverso almeno tre interazioni fondamentali: l'interazione elettrodebole che comprende l'elettromagnetismo e la forza nucleare debole, la forza nucleare forte descritta dalla cromodinamica quantistica e la gravità, che, al momento, è descritta al meglio dalla relatività generale. Le prime due interazioni possono essere descritte da teorie quantistiche rinormalizzate, e sono mediate da bosoni di gauge ciascuno dei quali corrisponde a un particolare tipo di simmetria di gauge.

Una teoria quantistica dei campi rinormalizzata della relatività generale non è ancora stata raggiunta, anche se le varie forme di teoria delle stringhe sembrano promettenti. Si ritiene che la teoria della relatività speciale valga in tutto l'universo, a condizione che le scale di lunghezza spaziali e temporali siano sufficientemente brevi, altrimenti deve essere applicata la più generale teoria della relatività generale. Non esiste una spiegazione per i valori che le costanti della fisica sembrano avere nel nostro universo, come ad esempio quello per la costante di Planck h o per la costante di gravitazione universale G. Sono state identificate diverse leggi di conservazione, come la conservazione della carica, del momento, del momento angolare e dell'energia; in molti casi queste leggi di conservazione possono essere correlate a simmetrie o a identità matematiche.

La "regolazione fine"

Sembra che molte delle proprietà dell'Universo abbiano valori speciali: un universo con proprietà solo leggermente differenti non sarebbe in grado di sostenere la vita intelligente.[53][54] Non tutti gli scienziati concordano sul fatto che l'Universo sia "finemente regolato" (un *fine-tuned Universe* in inglese).[55][56] In particolare, non si sa in quali condizioni la vita intelligente si potrebbe formare e in quali forme. Un'osservazione rilevante in questa discussione è che per un osservatore che esista, e quindi in grado di osservare una regolazione fine, l'Universo deve essere in grado di sostenere la vita intelligente. Pertanto, la probabilità condizionata di osservare un universo messo a punto per sostenere la vita intelligente è sempre 1. Questa osservazione è nota come principio antropico ed è particolarmente importante se la creazione dell'Universo è probabilistica o se esistono universi multipli con proprietà variabili (vedi La teoria del Multiverso).

Modelli storici di universo

Storicamente diverse cosmologie e cosmogonie si sono basate su narrazioni degli eventi fra antiche divinità. Le prime teorie di un universo impersonale governato da leggi fisiche risalgono agli antichi greci e indiani. Nei secoli, nuove invenzioni di strumenti per l'osservazione e scoperte nel campo dei moti dei corpi e della gravitazione portarono ad una sempre più accurata descrizione dell'universo. L'era moderna della cosmologia ebbe inizio nel 1915 con la teoria della relatività generale di Einstein, che rese possibile fare ipotesi quantitative sull'origine, l'evoluzione e la conclusione dell'intero universo. La più moderna ed accettata teoria sulla cosmologia si basa sulla relatività generale e, più nello specifico, sull'ipotesi del Big Bang.

La Creazione

Molte culture hanno storie che descrivono l'origine del mondo, le quali possono essere raggruppate sommariamente in tipologie comuni. Una di queste è la nascita del mondo da un uovo cosmico; esempi di storie relative a questa tipologia sono il poema epico finlandese *Kalevala*, la storia cinese di Pangu e l'indiano Brahmanda Purana. La Creazione può venire provocata da una singola entità, la quale emana o produce qualcosa da essa stessa, come nel caso del Buddhismo tibetano (Adi-Buddha) o di Gaia, del mito azteco di Coatlicue, della divinità egiziana Atum o della Genesi ebraico-cristiana. In altri tipi di storie, il mondo viene creato dall'unione di una divinità maschile e di una femminile, come nella narrazione mitologica Māori di Rangi e Papa. In altre storie ancora, l'universo è creato dalla lavorazione di "materiale" preesistente, come nella narrazione epica babilonese Enûma Eliš, in quella norrena del gigante Ymir e nella storia di Izanagi e Izanami della mitologia giapponese; altre volte l'universo ha origine da principi fondamentali: si vedano ad esempio Brahman e Prakṛti, o lo yin e lo yang del Tao.

Modelli filosofici

Dal VI secolo prima di Cristo, i Presocratici svilupparono il primo modello filosofico conosciuto dell'universo. Gli antichi filosofi greci notarono che l'apparenza poteva ingannare e che doveva essere compresa per delineare la realtà dietro l'apparenza stessa. In particolare, notarono l'abilità delle cose di mutare forma (come il ghiaccio, in acqua e poi in vapore) e diversi filosofi proposero che tutti gli apparentemente differenti materiali del mondo fossero forme diverse di un singolo materiale primordiale, chiamato Archè. Il primo a pensare ciò fu Talete, il quale affermò che questo materiale era l'acqua. Uno studente di Talete, Anassimandro, propose che ogni cosa provenisse dall'illimitato Ápeiron. Anassimene di Mileto, invece, propose l'aria come Arché, a causa delle sue qualità percepite attrattive e repulsive che le permetteva di condensarsi e dissociarsi in forme differenti.

Anassagora propose il principio dell'intelletto cosmico mentre Eraclito affermò che l'Arché fosse il fuoco (e parlò anche di Logos). Empedocle propose quattro elementi: terra, acqua, aria e fuoco, dando così vita ad una credenza molto popolare. Come Pitagora, Platone credeva che tutte le cose erano composte da numeri, trasformando gli elementi di Empedocle in "solidi". Leucippo, Democrito, e altri filosofi successivi - tra cui Epicuro -, proposero che l'universo fosse composto da elementi invisibili, gli atomi, i quali si muovono all'interno del vuoto. Aristotele invece non credeva che fosse possibile in quanto l'aria, come l'acqua, generava una resistenza al moto. L'aria infatti si precipita a riempire un vuoto e, facendo ciò, il suo moto è indefinitivamente veloce e privo di resistenze.

Anche se Eraclito parla di cambiamenti eterni, Parmenide, suo quasi contemporaneo, dà un radicale suggerimento, affermando che tutti i cambiamenti sono un'illusione e che la vera realtà è eternamente immutata e di una natura singola. Parmenide chiama questa realtà "Essere". La teoria di Parmenide sembrò implausibile a molti Greci ma un suo studente, Zenone di Elea sostenne questa teoria con diversi e famosi paradossi, i Paradossi di Zenone. Aristotele rispose a questi paradossi sviluppando la nozione di una potenziale infinità numerabile, un esempio della quale è il concetto di continuo infinitamente divisibile. Diversamente dall'eterno e immutabile ciclo del tempo, egli credeva che il mondo fosse delimitato da sfere celesti.

Il filosofo indiano Kanada, fondatore della scuola Vaiśeṣika, sviluppò una teoria di atomismo e propose la luce e il calore come varietà della stessa sostanza.[57] Nel V secolo d.C., il filosofo buddhista Dignaga affermò che l'atomo è un punto adimensionale fatto di energia. Negò quindi l'esistenza di una sostanza materiale e affermò che il movimento consisteva in flash momentanei di un flusso di energia.[58]

La teoria del finitismo temporale si ispirò alla dottrina della Creazione tipica delle tre religioni abramitiche: giudaismo, cristianesimo e islamismo. Il filosofo cristiano Giovanni Filopono presentò un'argomentazione filosofica contro la nozione greca di un infinito passato ed un infinito futuro. L'argomentazione contro il passato fu creata dal filosofo islamico al-Kindi, dal filosofo ebraico Saadya Gaon e dal teologo islamico Al-Ghazali. Facendosi prestare la "fisica" e la "metafisica" aristoteliche, idearono due argomentazioni logiche contro l'infinitezza del passato, la prima delle quali "argomenta dell'impossibilità dell'esistenza di un infinito attuale", che afferma:[59]

> "Un infinito attuale non può esistere."
> "Un infinito regresso temporale di eventi è un infinito attuale."
> ⇒ "Un infinito regresso temporale di eventi non può esistere."

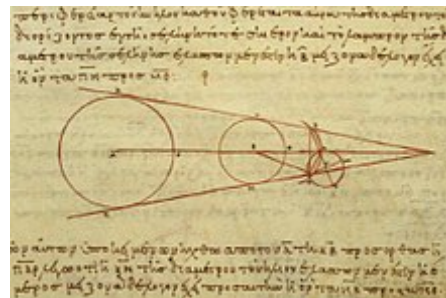
La seconda argomentazione "argomenta dell'impossibilità di completare un infinito attuale con un'adduzione successiva":[59]

> "Un infinito attuale non può essere completato da una successiva aggiunta."
> "Le serie temporali dei passati esempi è stata completata da aggiunte successive."
> ⇒ "Le serie temporali dei passati eventi non può essere un infinito attuale."

Entrambe le argomentazioni furono adottate dai filosofi e teologi cristiani e la seconda argomentazione, in particolare, divenne molto famosa dopo che essa fu adottata da Immanuel Kant nelle sue famose tesi sulla prima antinomia sul tempo.[59]

Modelli astronomici

Dei primi modelli astronomici dell'universo furono proposti dagli astronomi babilonesi che vedevano l'universo come un disco piatto posato su un oceano; tale idea fu la premessa per le mappe di Anassimandro ed Ecateo di Mileto.

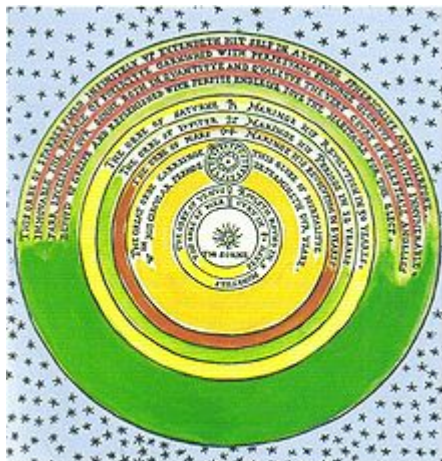
In seguito, i filosofi greci, osservando i moti dei corpi celesti, si concentrarono su modelli di universo sviluppati molto più profondamente su prove empiriche. Il primo modello coerente fu proposto da Eudosso di Cnido. Secondo l'interpretazione fisica di Aristotele del modello, delle sfere celesti ruotano eternamente con moto uniforme attorno ad una Terra immobile, mentre gli elementi classici sono contenuti interamente nella sfera terrestre. Questo modello fu rifinito da Callippo di Cizico e dopo che le sfere concentriche furono abbandonate, fu portato al quasi perfetto accordo con le osservazioni astronomiche da Claudio Tolomeo. Il successo di questo modello è largamente dovuto alla matematica: ogni funzione (come la posizione di un pianeta) può essere decomposta in una serie di funzioni circolari (serie di Fourier). Altri filosofi greci, come il pitagorico Filolao affermarono che al centro dell'universo vi era un "fuoco centrale" attorno cui la Terra, il Sole, la Luna e gli altri pianeti rivoluzionano in un moto uniforme circolare.[60] L'astronomo greco Aristarco di Samo fu il primo a proporre un modello eliocentrico. Anche se il testo originale è stato perso, un riferimento in un testo di Archimede descrive la teoria eliocentrica di Aristarco. Archimede scrive:

Calcoli di Aristarco su Sole, Terra e Luna, da una copia greca del X secolo d.C.

> «Tu Re Gelone sei consapevole che l''universo' è il nome dato dalla maggior parte degli astronomi alla sfera al cui centro è la Terra, mentre il suo raggio è uguale alla linea che congiunge il centro del Sole dal centro della Terra. Questo è il punto in comune come hai potuto udire dagli astronomi. Tuttavia Aristarco ha messo in evidenza un testo che consiste in certe ipotesi, in cui appare, come una conseguenza delle ipotesi fatte, che l'universo è molte volte più grande dell''universo' appena menzionato. Le sue ipotesi dicono che le stelle fisse e il Sole rimangono immobili, che la Terra rivoluziona attorno al Sole sulla circonferenza di un cerchio, il Sole disteso nel mezzo dell'orbita, e che la sfera delle stelle fisse, situate circa nello stesso centro come il Sole, è così grande che il cerchio, nel quale lui suppone sia la Terra per ruotare, supporti una specie di proporzione rispetto alla distanza delle stelle fisse, come il centro delle sfere di supporto rispetto alla sua superficie.»

Aristarco quindi credeva che le stelle fossero molto distanti e attribuiva a questa lontananza il fatto che non si riuscisse a misurare alcun moto stellare di parallasse, il quale è un movimento apparente delle stelle determinato dal movimento della Terra attorno al Sole. Le stelle sono infatti molto più distanti rispetto a quanto si potesse immaginare nei tempi antichi e la loro parallasse è così piccola che poté essere misurata solo nel XVIII secolo. Il modello geocentrico, invece, forniva una valida spiegazione della non osservabilità del fenomeno della parallasse stellare. Il rifiuto della concezione eliocentrica fu apparentemente abbastanza forte, come il seguente passaggio di Plutarco suggerisce:

> «Cleante [un contemporaneo di Aristarco e capo degli Stoici] pensava fosse dovere dei greci accusare Aristarco di Samo di empietà per aver messo in moto la Salute dell'universo, [...] supponendo che il cielo rimanga immobile e che la Terra rivoluzioni in un circolo obliquo, mentre ruotava, allo stesso tempo, attorno al suo stesso asse.»

L'unico astronomo conosciuto dell'antichità che abbia supportato il modello eliocentrico di Aristarco fu Seleuco di Seleucia, un astronomo greco che visse un secolo dopo Aristarco stesso.[61][62][63] Secondo Plutarco, Seleuco fu il primo a dare prova della correttezza del sistema eliocentrico attraverso il ragionamento ma non si ha conoscenza di quali argomentazioni abbia usato. Tali argomenti a favore della

teoria eliocentrica furono probabilmente legati al fenomeno delle maree.[64] Secondo Strabone, Seleuco fu il primo ad affermare che le maree sono dovute all'attrazione della Luna e che la loro altezza dipende dalla posizione della Luna rispetto al Sole.[65] In alternativa, avrebbe potuto provare la teoria eliocentrica determinando la costante di un modello geometrico della teoria eliocentrica e sviluppando metodi per determinare le posizioni planetarie usando questo modello, come ciò che avrebbe fatto in seguito Corpernico nel XVI secolo.[66] Durante il Medioevo, il modello eliocentrico poteva essere proposto solo dall'astronomo indiano Aryabhata[67] e dai persiani Abu Ma'shar al-Balkhi[68] e Al-Sijzi.[69]

Modello dell'universo copernicano di Thomas Digges, disegnato nel 1576, con un miglioramento ovvero le stelle non sono confinate in sfere ma disseminate uniformemente per tutto lo spazio circostante i pianeti.

Il modello aristotelico fu accettato nel mondo occidentale per circa due millenni, finché Copernico non ravvivò la teoria di Aristarco che i dati astronomici potevano essere spiegati più plausibilmente se la Terra ruotava attorno al proprio asse e se il Sole fosse posizionato al centro dell'universo.

> «Nel centro vi è il Sole. Per chi avrebbe posto questa lampada di un bellissimo tempio in un altro o migliore posto di questo dal quale può illuminare tutto allo stesso tempo?»
>
> (Nicola Copernico Capitolo 10, Libro 1, *De Revolutionibus Orbium Coelestrum* (1543))

Come fa notare Copernico stesso, l'idea che la Terra ruoti era molto antica, databile almeno fin da Filolao (circa 450 a.C.), Eraclide Pontico (circa 350 a.C.) ed Ecfanto di Siracusa. Circa un secolo prima di Copernico, uno studioso cristiano, Nicola Cusano, aveva anch'esso proposto che la Terra ruotasse attorno al proprio asse nel suo stesso testo, *La Dotta Ignoranza* (1440).[70] Anche Aryabhata (476 - 550), Brahmagupta (598 - 668), Abu Ma'shar al-Balkhi e Al-Sijzi avevano presunto che la Terra ruotasse attorno al proprio asse. La prima prova empirica della rotazione della Terra, ottenuta osservando le comete, fu data da Nasir al-Din al-Tusi (1201 - 1274) e da Ali Qushji (1403 - 1474).

Questa cosmologia era accettata da Isaac Newton, Christiaan Huygens e altri scienziati.[71] Edmund Halley (1720)[72] e Jean-Philippe Loys de Chéseaux (1744)[73] notarono, indipendentemente, che il presupposto di uno spazio infinito e saturo, uniforme con le stelle, avrebbe portato alla conclusione che il cielo notturno avrebbe dovuto essere luminoso come quello durante il dì; questa analisi divenne nota, nel XIX secolo come il Paradosso di Olbers.[74] Newton credeva che uno spazio infinito uniformemente saturo con la materia avrebbe causato infinite forze ed infinita stabilità che avrebbe portato la materia a condensarsi verso l'interno a causa della sua stessa gravità.[71] Questa instabilità fu chiarita nel 1902 dal criterio dell'instabilità di Jeans.[75] Una soluzione a questo paradosso è l'universo di Charlier, in cui la materia è organizzata gerarchicamente (sistemi di corpi orbitanti che sono loro stessi in orbita in sistemi più grandi, *ad infinitum*) in un frattale come ad esempio quello in cui l'universo ha una densità complessiva trascurabile; un modello cosmologico simile fu proposto precedentemente, nel 1761, da Johann Heinrich Lambert.[76] Un avanzamento astronomico significativo del XVIII secolo si ebbe con le nebulose, su cui discussero anche Thomas Wright e Immanuel Kant.[77]

Giovanni Keplero pubblicò le *Tavole rudolfine* contenente un catalogo di stelle e tavole planetarie realizzate usando le misurazioni di Tycho Brahe.

La cosmologia fisica dell'era moderna cominciò nel 1917, quando Albert Einstein per primo applicò la sua teoria generale della relatività per modellare strutture e dinamiche dell'universo.[78]

La modellizzazione teorica dell'universo

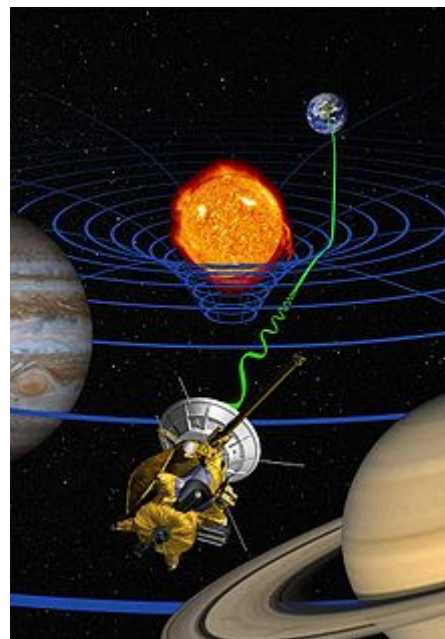
Test ad alta precisione della relatività generale della sonda Cassini (elaborazione artistica): i segnali radio inviati tra la Terra e la sonda (Onda verde) sono ritardate dalla deformazione spaziotemporale (Onde blu) dovute alla massa del Sole.

Delle quattro interazioni fondamentali, l'interazione gravitazionale è la dominante su scala cosmologica e le altre tre sono trascurabili. Dato che materia ed energia gravitano, gli effetti della gravità stessa sono cumulativi; al contrario, gli effetti di cariche positive e negative tendono ad annullarsi, rendendo l'elettromagnetismo relativamente insignificante su scala cosmologica. Le rimanenti due interazioni, la forza nucleare debole e forte si riducono molto rapidamente con la distanza cosicché i loro effetti sono confinati principalmente su scala subatomica.

L'uso della teoria della Relatività generale

Una volta stabilita la predominanza della gravitazione nelle strutture cosmiche, per avere modelli accurati del passato e del futuro dell'universo bisogna avere una teoria anch'essa accurata della gravitazione dei corpi. La miglior teoria in merito è la teoria della relatività generale di Albert Einstein, la quale finora ha superato con successo ogni test sperimentale eseguito. Le previsioni cosmologiche effettuate con essa appaiono, con l'osservazione astronomica, corrette, così non vi sono ragioni per adottare una teoria differente.

La relatività generale richiede dieci equazioni differenziali parziali non lineari per la metrica spaziotemporale (Equazioni di campo) che, applicate al "sistema Universo", devono essere risolte con la distribuzione della massa - energia e della quantità di moto su tutto l'universo. Dato che queste non sono note in dettaglio, i modelli cosmologici si sono finora basati sul principio cosmologico, che afferma che l'universo è omogeneo e isotropo; ovvero che le galassie siano distribuite uniformemente su tutto l'universo, con la stessa densità media. Presumendo una *polvere uniforme* per tutto l'universo, le equazioni di campo di Einstein si riducono alle più semplici Equazioni di Friedmann e si può quindi prevedere facilmente il futuro dell'universo e conoscere anche con buona precisione il suo passato, sempre su scala cosmologica.

Le equazioni di campo di Einstein includono una costante cosmologica (Λ),[78][79] che corrisponde ad una densità di energia dello spazio vuoto.[80] In base al suo segno, la costante può ridurre (Λ negativo) o accelerare (Λ positivo) l'espansione dell'universo. Anche se molti scienziati, incluso Einstein, hanno sostenuto che Λ fosse uguale a zero,[81] recenti osservazioni astronomiche di una supernova di tipo Ia hanno fatto individuare una buona quantità di energia oscura, la quale funziona da catalizzatrice per l'espansione dell'universo.[82] Studi preliminari suggeriscono che l'energia oscura corrisponde ad un Λ positivo, anche se teorie alternative non si possono ancora escludere.[83] Il fisico russo Jakov Borisovič Zel'dovič ha suggerito che Λ sia una misura di energia di punto zero associata con particelle virtuali della teoria quantistica dei campi, una diffusa energia del vuoto che esiste ovunque, anche nello spazio vuoto.[84] Prova di questa energia di punto zero sarebbe osservabile nell'effetto Casimir.

La risoluzione dell'equazione di campo di Einstein

Le distanze fra le galassie aumentano con il passare del tempo (legge di Hubble).[85] L'animazione a fianco illustra un universo chiuso di Friedman con costante cosmologica Λ uguale a zero.

Riproduci file multimediale
Animazione rappresentante l'espansione metrica dell'universo

Le equazioni di campo di Einstein legano la geometria ed in particolare la curvatura dello spaziotempo alla presenza di materia o energia. La *curvatura* dello spaziotempo è un parametro che può essere positivo, negativo o nullo. Semplificando lo spaziotempo (che è a quattro dimensioni) in una superficie bidimensionale (che è a due dimensioni) per ovvia comodità di rappresentazione, la curvatura si manifesta, su una superficie bidimensionale, nella somma degli angoli interni di un triangolo. In uno spazio piatto, ovvero "a curvatura nulla" (spazio euclideo, spaziotempo di Minkowski), la somma degli angoli interni di un triangolo è esattamente uguale a 180 gradi. In uno spazio curvo invece la somma degli angoli interni di un triangolo è maggiore o minore di 180 gradi secondo che la curvatura sia positiva o negativa (la differenza da questo ultimo valore è chiamato angolo di deficit). Una curvatura non nulla dello spaziotempo implica che questo debba essere studiato con le regole di una geometria non euclidea opportuna. Le geometrie non euclidee devono essere quindi considerate nelle soluzioni generali dell'equazione di campo di Einstein.

In esse, il teorema di Pitagora per il calcolo delle distanze vale solamente su lunghezze infinitesime e deve essere "sostituito" con un più generale tensore metrico $g_{\mu\nu}$, che può variare da luogo a luogo. Presumendo il principio cosmologico, secondo cui l'universo è omogeneo e isotropo, la densità di materia in ogni punto nello spazio è uguale ad ogni altro e quindi possono essere ricercate soluzioni simmetriche in cui il tensore metrico sarà costante ovunque nello spazio tridimensionale. Ciò porta a considerare un possibile tensore metrico chiamato Metrica di Friedmann - Lemaître - Robertson - Walker:[86]

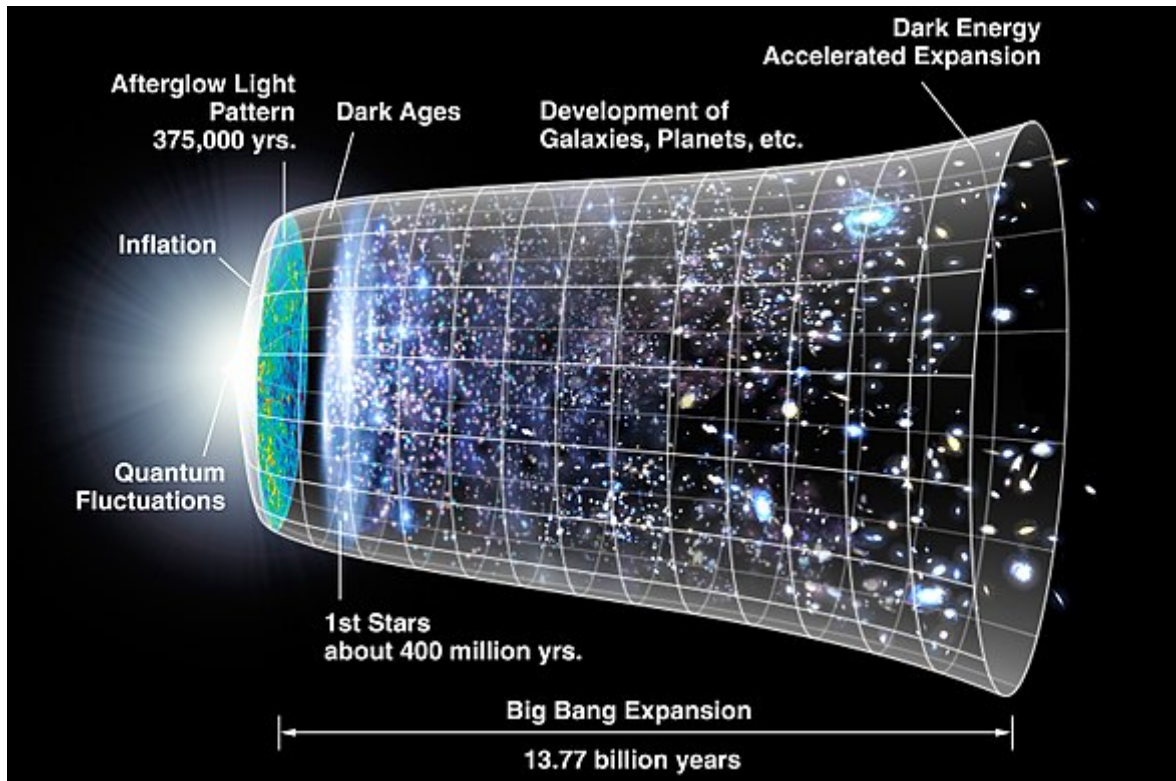
$$ds^2 = -c^2 dt^2 + R(t)^2 \left(\frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta \, d\phi^2 \right)$$

dove (r, θ, φ) corrispondono ad un sistema di coordinate sferico. Questa metrica ha solo due parametri indeterminati: una scala di lunghezza complessiva R che può variare con il tempo (che infatti compare come $R(t)$, dove t indica il tempo) e un indice di curvatura k che può assumere solo i valori 0, 1 o -1, corrispondenti al piano della geometria euclidea o a spazi di curvatura positiva o negativa. Tramite questi due parametri, la metrica influenza la storia dell'universo, la quale verrà quindi dedotta calcolando R in funzione del tempo, assegnati i valori di k e della costante cosmologica Λ, che è un parametro delle equazioni di campo di Einstein. L'equazione che descrive come varia R nel tempo ($R(t)$) quando si assume il principio cosmologico, è più propriamente conosciuta come equazione di Friedmann, che è una forma particolare dell'Equazione di campo di Einstein.[87]

Le soluzioni per $R(t)$ dipendono da k e da Λ, ma alcune caratteristiche qualitative di tali soluzioni sono generali. Prima e più importante, la lunghezza della scala R dell'Universo può rimanere costante *solo* se l'Universo è perfettamente isotropo, con curvatura positiva ($k = 1$), e con un preciso valore di densità uguale dappertutto; quest'osservazione fu fatta da Einstein. Anche questo equilibrio è tuttavia instabile, e d'altra parte l'Universo è noto per essere disomogeneo sulle scale più piccole; pertanto, in accordo con la relatività generale, R deve cambiare. Quando R cambia, tutte le distanze spaziali nell'Universo cambiano in tandem: si registra un aumento globale o una contrazione dello spazio stesso. Questo spiega l'osservazione iniziale che le galassie si stanno allontanando tra di loro: lo spazio tra di loro si sta "stirando". Lo stiramento dello spazio spiega anche l'apparente paradosso per cui due galassie possono essere separate da 40 miliardi di anni luce anche se hanno iniziato la loro storia nello stesso punto 13 798 000 000 di anni fa e non si sono mai mosse più velocemente della luce.

La seconda caratteristica è che tutte le soluzioni suggeriscono la presenza nel passato di una singolarità gravitazionale: quando *R* va a 0, la materia e l'energia presenti nell'Universo divengono infinitamente dense. Può sembrare che questa conclusione sia dubbia, in quanto si basa su ipotesi discutibili di perfetta omogeneità e isotropia (principio cosmologico) e sull'idea che solo l'interazione gravitazionale sia significativa. Tuttavia, i Teoremi sulla singolarità di Penrose-Hawking indicano che una singolarità dovrebbe esistere anche sotto condizioni molto più generali. Pertanto, in base alle equazioni di campo di Einstein, *R* è cresciuto rapidamente da uno stato di densità e calore inimmaginabili, esistente immediatamente dopo la singolarità. Questa è l'essenza del modello del Big Bang. Un comune errore che si fa pensando al Big Bang è che il modello preveda che la materia e l'energia siano esplose da un singolo punto nello spazio e nel tempo; in realtà, lo spazio stesso è stato creato nel Big Bang, intriso di una quantità fissa di energia e di materia distribuite inizialmente in modo uniforme; con l'espansione dello spazio (vale a dire, con l'aumento di *R (t)*), la densità di materia e di energia diminuisce.

> Lo spazio non ha confini – questo è empiricamente più sicuro di qualsiasi osservazione esterna. Tuttavia, ciò non significa che lo spazio sia infinito ... (dal tedesco)
>
> Bernhard Riemann (Habilitationsvortrag, 1854)

La terza caratteristica è che l'indice di curvatura *k* determina il segno della curvatura spaziale media dello spaziotempo su scale di lunghezza superiore al miliardo di anni luce. Se *k* = 1, la curvatura è positiva e l'Universo ha un volume finito. Questo tipo di Universo è spesso visualizzato come una sfera tridimensionale S^3 incorporata in uno spazio quadridimensionale. Se *k* è invece pari a zero o negativo, l'Universo *può*, in base alla sua topologia complessiva, avere un volume infinito. Può sembrare contro-intuitivo il fatto che un universo infinito e infinitamente denso possa essere stato creato in un solo istante con il Big Bang, quando *R* = 0, tuttavia ciò è ricavabile matematicamente ponendo *k* diverso da 1. Analogamente, un piano infinito ha curvatura nulla ma area infinita, un cilindro infinito è finito in una direzione, mentre un toro è finito in entrambe le direzioni. Un Universo toroidale potrebbe comportarsi come un universo con condizioni al contorno periodiche: un viaggiatore che attraversi un "confine" dello spazio riapparirebbe in un altro punto dello stesso Universo.

Modello (non in scala) di origine e espansione dello spaziotempo e della materia in esso contenuta. In questo diagramma il tempo aumenta da sinistra a destra, vengono rappresentate due dimensioni spaziali (una dimensione di spazio è stata soppressa); in tal modo, l'Universo ad un certo istante è rappresentato da una sezione circolare del diagramma.

Il destino ultimo dell'Universo è attualmente sconosciuto, in quanto dipende strettamente dall'indice di curvatura k e dalla costante cosmologica Λ, entrambi ancora non noti sperimentalmente con sufficiente precisione. Se l'Universo è abbastanza denso, k è uguale a 1, la sua curvatura media sarebbe positiva e l'Universo finirebbe per collassare in un Big Crunch, per poi eventualmente dar vita ad un nuovo Universo in un Big Bounce. Se invece l'Universo non è sufficientemente denso, k è uguale a 0 o a -1, l'Universo si espanderebbe all'infinito (Big Freeze), raffreddandosi fino a diventare inospitale per tutte le forme di vita, le stelle si spegnerebbero e la materia finirebbe in buchi neri (secondo alcuni, come Lee Smolin, ogni buco nero potrebbe generare a sua volta un nuovo universo). Come osservato in precedenza, dati recenti suggeriscono che la velocità di espansione dell'Universo non è in calo come originariamente previsto, ma in aumento. Se la velocità di espansione continuasse ad aumentare indefinitamente, l'Universo si espanderebbe in modo tale da "fare a brandelli" tutta la materia: (Big Rip). Sulla base delle recenti osservazioni, l'Universo sembra avere una densità vicina al valore critico che separa il collasso (Big Crunch) dall'espansione eterna (Big Freeze); per comprendere quindi l'effettivo destino dell'universo sono necessarie osservazioni astronomiche più precise.

Il modello del Big Bang

Il modello prevalente del Big Bang tiene conto di molte delle osservazioni sperimentali sopra descritte, come ad esempio la correlazione tra distanza e redshift delle galassie, il rapporto universale tra il numero di atomi di idrogeno e quello di atomi di elio, e la presenza dell'isotropica radiazione cosmica di fondo. Come notato sopra, il redshift deriva dall'espansione metrica dello spazio: con l'espansione dello spazio, la lunghezza d'onda di un fotone viaggiante attraverso lo spazio aumenta in maniera analoga, e il fotone diminuisce la sua energia. Più a lungo un fotone ha viaggiato, più è grande l'espansione che ha subito; di conseguenza, i fotoni delle galassie più distanti vengono spostati verso le lunghezze d'onda più basse; si dice "spostati verso il rosso", ovvero, con un anglicismo, sono "red-shiftati". Determinare la correlazione tra distanza e spostamento verso il rosso è un importante problema sperimentale di cosmologia fisica.

Le altre due osservazioni sperimentali possono essere spiegate combinando l'espansione globale dello spazio con la fisica nucleare e la fisica atomica. Con l'espansione dell'Universo, la densità di energia della radiazione elettromagnetica diminuisce più velocemente rispetto a quella della materia, in quanto l'energia di un fotone diminuisce con la sua lunghezza d'onda. Quindi, anche se la densità di energia dell'Universo è ora dominata dalla materia, un tempo era dominata dalla radiazione; poeticamente parlando, tutto era luce. Durante l'espansione dell'universo, la sua densità di energia è diminuita ed è diventato più freddo; in tal modo, le particelle elementari della materia si sono potute associare stabilmente in combinazioni sempre più grandi. Pertanto, nella prima parte dell'epoca dominata dalla materia, si sono formati protoni e neutroni stabili, che si sono poi associati in nuclei atomici. In questa fase, la materia dell'Universo era principalmente un caldo, denso plasma di elettroni negativi, neutrini neutri e nuclei positivi. Le reazioni nucleari tra i nuclei hanno portato alle abbondanze presenti dei nuclei più leggeri, in particolare dell'idrogeno, del deuterio e dell'elio. Elettroni e nuclei si sono infine combinati per formare atomi stabili, che sono trasparenti alla maggior parte delle lunghezze d'onda della radiazione; a questo punto, la radiazione si disaccoppiò quindi dalla materia, formando l'onnipresente, isotropico sfondo di radiazione a microonde osservato oggi.

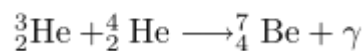
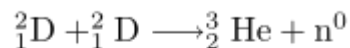
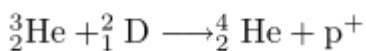
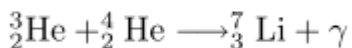
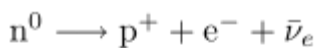
$$\begin{array}{ll}
\mathrm{n}^0 \longrightarrow \mathrm{p}^+ + \mathrm{e}^- + \bar{\nu}_e & \mathrm{p}^+ + \mathrm{n}^0 \longrightarrow {}^2_1\,\mathrm{D} + \gamma \\
{}^2_1\mathrm{D} + \mathrm{p}^+ \longrightarrow {}^3_2\,\mathrm{He} + \gamma & {}^2_1\mathrm{D} + {}^2_1\,\mathrm{D} \longrightarrow {}^3_2\,\mathrm{He} + \mathrm{n}^0 \\
{}^2_1\mathrm{D} + {}^2_1\,\mathrm{D} \longrightarrow {}^3_1\,\mathrm{T} + \mathrm{p}^+ & {}^3_1\mathrm{T} + {}^2_1\,\mathrm{D} \longrightarrow {}^4_2\,\mathrm{He} + \mathrm{n}^0 \\
{}^3_2\mathrm{He} + {}^4_2\,\mathrm{He} \longrightarrow {}^7_3\,\mathrm{Li} + \gamma & {}^3_2\mathrm{He} + \mathrm{n}^0 \longrightarrow {}^3_1\,\mathrm{T} + \mathrm{p}^+ \\
{}^3_2\mathrm{He} + {}^2_1\,\mathrm{D} \longrightarrow {}^4_2\,\mathrm{He} + \mathrm{p}^+ & {}^3_2\mathrm{He} + {}^4_2\,\mathrm{He} \longrightarrow {}^7_4\,\mathrm{Be} + \gamma \\
{}^7_3\mathrm{Li} + \mathrm{p}^+ \longrightarrow {}^4_2\,\mathrm{He} + {}^4_2\,\mathrm{He} & {}^7_4\mathrm{Be} + \mathrm{n}^0 \longrightarrow {}^7_3\,\mathrm{Li} + \mathrm{p}^+
\end{array}$$

Principali reazioni nucleari responsabili delle abbondanze relative dei nuclei atomici visibili osservati in tutto l'Universo.

Altre osservazioni non hanno ancora una risposta definitiva dalla fisica conosciuta. Secondo la teoria prevalente, un leggero squilibrio della materia sull'antimateria era presente alla creazione dell'Universo, o si sviluppò poco dopo, probabilmente a causa della violazione di CP osservata dai fisici delle particelle. Anche se materia e antimateria si sono in gran parte annientate l'una con l'altra, producendo fotoni, una piccola quantità di materia è così sopravvissuta, dando l'attuale Universo dominato dalla materia. Molte evidenze sperimentali suggeriscono che una rapida inflazione cosmica dell'Universo avvenne molto presto nella sua storia (circa 10^{-35} secondi dopo la sua creazione). Recenti osservazioni suggeriscono anche che la costante cosmologica (Λ) non è pari a zero e che il contenuto netto di massa-energia dell'Universo sia dominato da una energia oscura e da una materia oscura che non sono state ancora caratterizzate scientificamente. Esse differiscono nei loro effetti gravitazionali. La materia oscura gravita come la materia ordinaria e rallenta quindi l'espansione dell'Universo; al contrario, l'energia oscura accelera l'espansione dell'Universo.

La teoria del Multiverso

Alcune teorie speculative hanno proposto che questo Universo non sia che uno di un insieme di universi sconnessi, collettivamente indicati come multiverso, sfidando o migliorando definizioni più limitate dell'Universo.[21][88] Le teorie scientifiche sul multiverso si distinguono da concetti come piani alternativi di coscienza e realtà simulata. L'idea di un universo più grande non è nuova; ad esempio, il vescovo Étienne Tempier di Parigi ha stabilito nel 1277 che Dio potesse creare tanti universi quanti ne ritenesse opportuni, una questione che è stata oggetto di accesi dibattiti tra i teologi francesi.[89]

Max Tegmark ha sviluppato uno schema di classificazione in quattro parti per i diversi tipi di multiversi che gli scienziati hanno suggerito in diversi ambiti di problemi. Un esempio di tali tipi è il modello di Universo primordiale a inflazione caotica.[90]

Un altro è l'interpretazione a molti mondi della meccanica quantistica. I mondi paralleli sarebbero generati in maniera simile alla sovrapposizione quantistica e alla decoerenza, con tutti gli stati della funzione d'onda in corso di realizzazione in mondi separati. In effetti, il multiverso si evolve come una funzione d'onda universale.

Rappresentazione di un multiverso di sette universi "bolla", che sono spazio-tempi continui separati, ciascuno con diverse leggi fisiche, costanti fisiche, e forse anche un diverso numero di dimensioni e diverse topologie.

La categoria meno controversa di multiverso nello schema di Tegmark è il I Livello, che descrive eventi spazio-temporali remoti rispetto a noi ma ancora "nel nostro Universo". Se lo spazio è infinito, o sufficientemente ampio e uniforme, potrebbe contenere copie identiche della storia della Terra e del suo intero volume di Hubble. Tegmark ha calcolato la distanza a cui si troverebbe il nostro più vicino cosiddetto Doppelgänger, e tale distanza sarebbe pari a circa $10^{10^{115}}$ metri.[91][92] In linea di principio, sarebbe impossibile verificare scientificamente l'esistenza di un volume di Hubble identico al nostro. Tuttavia, dovrebbe seguire come conseguenza abbastanza semplice da osservazioni scientifiche e teorie altrimenti non correlate. Tegmark suggerisce che l'analisi statistica effettuata sfruttando il principio antropico offre la possibilità di testare le teorie del multiverso in alcuni casi.

Forma dell'universo

Un'importante domanda della cosmologia per ora senza risposta è quella della *forma dell'universo*, ovvero di quale sia la combinazione di curvatura e topologia che lo domina. Intuitivamente, ci si chiede quanto le relazioni tra i suoi punti rispecchino le regole della geometria euclidea o piuttosto quelle di altre geometrie, e, per quanto riguarda la topologia, ci si può chiedere ad esempio se l'universo è fatto di un solo "blocco", oppure se invece presenta "strappi" di qualche genere.

La forma o geometria dell'Universo include sia la geometria locale dell'Universo osservabile sia la geometria globale, che possiamo essere o non essere in grado di misurare. Formalmente, lo scienziato indaga quale 3-varietà corrisponde alla sezione spaziale in coordinate comoventi dello spaziotempo quadridimensionale dell'Universo. I cosmologi normalmente lavorano con una data fetta di spazio-tempo di tipo spazio chiamata coordinata comovente. In termini osservativi, la sezione dello spazio-tempo che si può osservare è il cono di luce passato (i punti all'interno dell'orizzonte cosmologico, dato un certo tempo per raggiungere l'osservatore). Se l'universo osservabile è più piccolo dell'intero Universo (in alcuni modelli è di molti ordini di grandezza inferiore), non si può determinare la struttura globale mediante l'osservazione: ci si deve limitare a una piccola regione.

Tra i modelli di Friedmann–Lemaître–Robertson–Walker (FLRW), la forma di universo attualmente più popolare tra quelle trovate per contenere i dati osservativi, tra i cosmologi, è il modello piatto infinito,[93] mentre altri modelli FLRW includono lo spazio di Poincaré dodecaedrico[94][95] e il Corno di Picard.[96] I dati che si adattano a questi modelli FLRW di spazio includono in particolare le mappe della radiazione cosmica di fondo della sonda Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP). La NASA ha pubblicato i primi dati del WMAP relativi alle radiazioni cosmiche di fondo nel febbraio 2003. Nel 2009 è stato lanciato l'osservatorio Planck per osservare il fondo a microonde a una più alta risoluzione di WMAP, possibilmente fornendo maggiori informazioni sulla forma dell'Universo. I dati sono stati poi pubblicati a marzo del 2013 - si veda il paragrafo Storia della sua osservazione.

Destino dell'universo

Note

1. ^ *Universe*, Webster's New World College Dictionary, Wiley Publishing, Inc., 2010.
2. ^ *Universe*, su *Encyclopedia Britannica*.
   «the whole cosmic system of matter and energy of which Earth, and therefore the human race, is a part».
3. ^ *Universe*, su *Dictionary.com*. URL consultato il 21 settembre 2012.
4. ^ *Universe*, su *Merriam-Webster Dictionary*. URL consultato il 21 settembre 2012.
5. ^ *The American Heritage Dictionary of the English Language*, 4th, Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company, 2010.
6. ^ *Cambridge Advanced Learner's Dictionary*.
7. Charles Lineweaver, Tamara M. Davis, *Misconceptions about the Big Bang* (PDF), Scientific American, 2005. URL consultato il 15 luglio 2016.
8. *Planck reveals an almost perfect universe*, su *Planck*, ESA, 21 marzo 2013. URL consultato il 21 marzo 2013.
9. ^ Stephen Hawking, *The Beginning of Time*, su *hawking.org.uk*. URL consultato il 10 marzo 2014.
10. ^ multiverse (http://www.astronomy.pomona.edu/Projects/moderncosmo/Sean%27s%20mutliverse.html) Archiviato (https://web.archive.org/web/20110924235736/http://www.astronomy.pomona.edu/Projects/moderncosmo/Sean%27s%20mutliverse.html) il 24 settembre 2011 in Internet Archive.. Astronomy.pomona.edu. Retrieved 2011-11-28.
11. ^ Palmer, Jason. (2011-08-03) BBC News – 'Multiverse' theory suggested by microwave background (http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-14372387). Retrieved 2011-11-28.
12. ^ Dizionario etimologico online (http://www.etimo.it)
13. ^ Lewis and Short, A Latin Dictionary, Oxford University Press, ISBN 0-19-864201-6, pp. 1933, 1977–1978 (Traduz.).
14. ^ Lewis, C. T. and Short, S *A Latin Dictionary*, Oxford University Press, ISBN 0-19-864201-6, pp. 1933, 1977–1978.
15. ^ Liddell and Scott, p. 1392.
16. ^ Liddell and Scott, pp. 1345–1346.
17. ^ Yonge, Charles Duke, *An English-Greek lexicon*, New York, American Bok Company, 1870, p. 567.
18. ^ Liddell and Scott, pp. 985, 1964.
19. ^ Lewis and Short, pp. 1881–1882, 1175, 1189–1190.
20. ^ OED, pp. 909, 569, 3821–3822, 1900.
21. George F.R. Ellis, U. Kirchner, W.R. Stoeger, *Multiverses and physical cosmology*, in *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 347, n. 3, 2004, pp. 921–936, Bibcode:2004MNRAS.347..921E, DOI:10.1111/j.1365-2966.2004.07261.x, arXiv:astro-ph/0305292.
22. ^ *Universe*, ed. Martin Rees, pp. 54–55, Dorling Kindersley Publishing, New York 2005, ISBN 978-0-7566-1364-8
23. ^ In contrasto con l'energia oscura, che crea espansione (in termini tecnici è dotata di "pressione negativa"), la materia oscura conduce all'"aggregazione" attraverso la gravitazione.
24. Whitney Clavin e J.D. Harrington, *Planck Mission Brings Universe Into Sharp Focus*, su *NASA*, 21 marzo 2013. URL consultato il 21 marzo 2013.
25. Dennis Overbye, *An Infant Universe, Born Before We Knew*, in *The New York Times*, 21 marzo 2013. URL consultato il 21 marzo 2013.
26. ^ Staff, *Mapping the Early Universe*, su *The New York Times*, 21 marzo 2013. URL consultato il 23 marzo 2013.
27. Alan Boyle, *Planck probe's cosmic 'baby picture' revises universe's vital statistics*, su *NBC News*, 21 marzo 2013. URL consultato il 21 marzo 2013.
28. P. A. R. Ade, N. Aghanim, C. Armitage-Caplan e *et al*. (Planck Collaboration), *Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results*, in *Astronomy & Astrophysics (submitted) http://arxiv.org/abs/1303.5062*, 20 marzo 2013, Bibcode:2013arXiv1303.5062P, arXiv:1303.5062.
29. ^ C.L. Bennett, L. Larson, J.L. Weiland, N. Jarosk, N. Hinshaw, N. Odegard, K.M. Smith, R.S. Hill e B. Gold, *Nine-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Final Maps and Results*, 20 dicembre 2012,

arXiv:1212.5225. URL consultato il 1º gennaio 2013.

30. ^ Charles Lineweaver, Davis, Tamara M., *Misconceptions about the Big Bang*, Scientific American, 2005. URL consultato il 6 novembre 2008.
31. ^ Rindler (1977), p.196.
32. ^ Eric Christian e Safi-Harb Samar, *How large is the Milky Way?*, su *imagine.gsfc.nasa.gov*. URL consultato il 28 novembre 2007.
33. ^ I. Ribas, C. Jordi, F. Vilardell, E.L. Fitzpatrick, R.W. Hilditch, F. Edward, *First Determination of the Distance and Fundamental Properties of an Eclipsing Binary in the Andromeda Galaxy*, in *Astrophysical Journal*, vol. 635, n. 1, 2005, pp. L37–L40, Bibcode:2005ApJ...635L..37R, DOI:10.1086/499161, arXiv:astro-ph/0511045.
McConnachie, A. W.; Irwin, M. J.; Ferguson, A. M. N.; Ibata, R. A.; Lewis, G. F.; Tanvir, N., *Distances and metallicities for 17 Local Group galaxies*, in *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 356, n. 4, 2005, pp. 979–997, Bibcode:2005MNRAS.356..979M, DOI:10.1111/j.1365-2966.2004.08514.x, arXiv:astro-ph/0410489.
34. ^ Glen Mackie, *To see the Universe in a Grain of Taranaki Sand*, Swinburne University, 1º febbraio 2002. URL consultato il 20 dicembre 2006.
35. ^ *Unveiling the Secret of a Virgo Dwarf Galaxy*, ESO, 3 maggio 2000. URL consultato il 3 gennaio 2007 (archiviato dall'url originale il 29 luglio 2012).
36. ^ *Hubble's Largest Galaxy Portrait Offers a New High-Definition View*, NASA, 28 febbraio 2006. URL consultato il 3 gennaio 2007.
37. ^ Vergano, Dan, *Universe holds billions more stars than previously thought*, in *USA Today*, 1º dicembre 2010. URL consultato il 14 dicembre 2010.
38. ^ Christopher J. Conselice et al, *The Evolution of Galaxy Number Density at z < 8 and its Implications*, in *The Astrophysical Journal*, vol. 830, n. 2, 2016, p. 83, DOI:10.3847/0004-637X/830/2/83, arXiv:1607.03909v2.
39. ^ *Universe has two trillion more galaxies than previously thought*, The Guardian, 13 ottobre 2016. URL consultato il 14 ottobre 2016.
40. ^ *The Universe Has 10 Times More Galaxies Than Scientists Thought*, space.com, 13 ottobre 2016. URL consultato il 14 ottobre 2016.
41. ^ N. Mandolesi, P. Calzolari, S. Cortiglioni, F. Delpino, G. Sironi, *Large-scale homogeneity of the Universe measured by the microwave background*, in *Letters to Nature*, vol. 319, n. 6056, 1986, pp. 751–753, Bibcode:1986Natur.319..751M, DOI:10.1038/319751a0.
42. ^ Gary Hinshaw, *New Three Year Results on the Oldest Light in the Universe*, NASA WMAP, 29 novembre 2006. URL consultato il 10 agosto 2006.
43. ^ Gary Hinshaw, *Tests of the Big Bang: The CMB*, NASA WMAP, 15 dicembre 2005. URL consultato il 9 gennaio 2007.
44. ^ Rindler (1977), p. 202.
45. ^ Gary Hinshaw, *What is the Universe Made Of?*, NASA WMAP, 10 febbraio 2006. URL consultato il 4 gennaio 2007.
46. ^ Wright EL, *Age of the Universe*, UCLA, 2005. URL consultato l'8 gennaio 2007.
Krauss LM, Chaboyer B, *Age Estimates of Globular Clusters in the Milky Way: Constraints on Cosmology*, in *Science*, vol. 299, n. 5603, 3 gennaio 2003, pp. 65–69, Bibcode:2003Sci...299...65K, DOI:10.1126/science.1075631, PMID 12511641.
47. ^ Edward L. Wright, *Big Bang Nucleosynthesis*, UCLA, 12 settembre 2004. URL consultato il 5 gennaio 2007.
M. Harwit, M. Spaans, *Chemical Composition of the Early Universe*, in *The Astrophysical Journal*, vol. 589, n. 1, 2003, pp. 53–57, Bibcode:2003ApJ...589...53H, DOI:10.1086/374415, arXiv:astro-ph/0302259.
C. Kobulnicky, E. D. Skillman e Skillman, *Chemical Composition of the Early Universe*, in *Bulletin of the American Astronomical Society*, vol. 29, 1997, p. 1329, Bibcode:1997AAS...191.7603K.
48. ^ *Antimatter*, Particle Physics and Astronomy Research Council, 28 ottobre 2003. URL consultato il 10 agosto 2006 (archiviato dall'url originale il 7 marzo 2004).
49. ^ Landau and Lifshitz (1975), p. 361.
50. ^ WMAP Mission: Results – Age of the Universe (http://map.gsfc.nasa.gov/m_mm/

mr_content.html). Map.gsfc.nasa.gov. Retrieved on 2011-11-28.

51. ^ Jean-Pierre Luminet, Boudewijn F. Roukema, *Topology of the Universe: Theory and Observations*, *Proceedings of Cosmology School held at Cargese, Corsica, August 1998*, 1999, arXiv:astro-ph/9901364.
Jean-Pierre Luminet, J. Weeks, A. Riazuelo, R. Lehoucq, J.-P. Uzan, *Dodecahedral space topology as an explanation for weak wide-angle temperature correlations in the cosmic microwave background*, in *Nature*, vol. 425, n. 6958, 2003, pp. 593–595, Bibcode:2003Natur.425..593L, DOI:10.1038/nature01944, PMID 14534579, arXiv:astro-ph/0310253.
52. ^ Nick Strobel, *The Composition of Stars*, Astronomy Notes, 23 maggio 2001. URL consultato il 4 gennaio 2007.
Have physical constants changed with time?, Astrophysics (Astronomy Frequently Asked Questions). URL consultato il 4 gennaio 2007.
53. ^ Stephen Hawking, *A Brief History of Time*, Bantam Books, 1988, p. 125, ISBN 0-553-05340-X.
54. ^ Martin Rees, *Just Six Numbers*, HarperCollins Publishers, 1999, ISBN 0-465-03672-4.
55. ^ F.C. Adams, *Stars in other universes: stellar structure with different fundamental constants*, in *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, vol. 2008, n. 8, 2008, p. 010, Bibcode:2008JCAP...08..010A, DOI:10.1088/1475-7516/2008/08/010, arXiv:0807.3697.
56. ^ R. Harnik, Kribs, G.D. and Perez, G., *A Universe without weak interactions*, in *Physical Review D*, vol. 74, n. 3, 2006, p. 035006, Bibcode:2006PhRvD..74c5006H, DOI:10.1103/PhysRevD.74.035006, arXiv:hep-ph/0604027.
57. ^ (EN) Will Durant, *Our Oriental Heritage*:

(EN)

«Two systems of Hindu thought propound physical theories suggestively similar to those of Greece. Kanada, founder of the Vaisheshika philosophy, held that the world was composed of atoms as many in kind as the various elements. The Jains more nearly approximated to Democritus by teaching that all atoms were of the same kind, producing different effects by diverse modes of combinations. Kanada believed light and heat to be varieties of the same substance; Udayana taught that all heat comes from the sun; and Vachaspati, like Newton, interpreted light as composed of minute particles emitted by substances and striking the eye.»

(IT)

«Due sistemi di pensiero indù propongono teorie fisiche suggestivamente simili a quelle della Grecia. Kanada, fondatore filosofia Vais dichiarò che i è composto di tanti tipi in quanti sono elementi. I gi avvicinavano pensiero di De insegnando c gli atomi sor stesso tip producono diversi combinati in diverso. credeva che calore fosser aspetti della sostanza; U insegnava ch calore viene e Vachaspat Newton, inter luce come c da m particelle dalle sosta colpire l'occhi

58. ^ Stcherbatsky, F. Th. (1930, 1962), *Buddhist Logic*, Volume 1, p. 19, Dover, New York:

(EN)

«The Buddhists denied the existence of substantial matter altogether. Movement consists for them of moments, it is a staccato movement, momentary flashes of a stream of energy... "Everything is evanescent",... says the Buddhist, because there is no stuff... Both systems [Sānkhya, and later Indian Buddhism] share in common a tendency

(IT)

«I buddisti l'esistenza materia so del tutto. Il m è costituito pe momenti, movimento s di momentan di un flu energia... "T evanescente", buddista, per c'è so Entrambi i [Sāṃkhya, successivame buddhismo

to push the analysis of existence up to its minutest, last elements which are imagined as absolute qualities, or things possessing only one unique quality. They are called “qualities” (guna-dharma) in both systems in the sense of absolute qualities, a kind of atomic, or intra-atomic, energies of which the empirical things are composed. Both systems, therefore, agree in denying the objective reality of the categories of Substance and Quality,... and of the relation of Inference uniting them. There is in Sānkhya philosophy no separate existence of qualities. What we call quality is but a particular manifestation of a subtle entity. To every new unit of quality corresponds a subtle quantum of matter which is called guna “quality”, but represents a subtle substantive entity. The same applies to early Buddhism where all qualities are substantive... or, more precisely, dynamic entities, although they are also called dharmas ('qualities').»

hanno in comune la tendenza a spingere l'analisi dell'Esistenza fino ai suoi minimi, ultimi elementi, che sono immaginati come qualità assolute, o come cose in possesso di una sola qualità unica. [Questi elementi] sono chiamati "qualità" (*guna-dharma*) in entrambi i sistemi, nel senso di qualità assolute, una sorta di atomiche, o intra-atomiche, energie di cui sono composte le cose empiriche. Entrambi i sistemi, quindi, sono d'accordo nel negare la realtà oggettiva delle categorie di sostanza e qualità,... e delle relazioni di inferenza che le uniscono. Nella filosofia Sankhya non c'è l'esistenza separata delle qualità. Ciò che noi chiamiamo la qualità non è che una particolare manifestazione di un'entità sottile. Ad ogni nuova unità di qualità corrisponde un quanto sottile di materia chiamato *guna*, "qualità", ma rappresenta un'entità sottile sostanziale. Lo stesso vale per il primitivo Buddismo, dove tutte le qualità sono sostanziali... o, più precisamente, entità dinamiche, anche se chiamati («qualità»).»

59. William Lane Craig, *Whitrow and Popper on the Impossibility of an Infinite Past*, in *The British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 30, n. 2, giugno 1979, pp. 165–170 (165–6), DOI:10.1093/bjps/30.2.165.
60. ^ Boyer, C. *A History of Mathematics.* Wiley, p. 54.
61. ^ Neugebauer, Otto E., *The History of Ancient Astronomy Problems and Methods*, in *Journal of Near Eastern Studies*, vol. 4, n. 1, 1945, pp. 1–38, DOI:10.1086/370729, JSTOR 595168.
«the Chaldaean Seleucus from Seleucia».
62. ^ Sarton, George, *Chaldaean Astronomy of the Last Three Centuries B. C*, in *Journal of the American Oriental Society*, vol. 75, n. 3, 1955, pp. 166–173 (169), DOI:10.2307/595168, JSTOR 595168.
«the heliocentrical astronomy invented by Aristarchos of Samos and still defended a century later by Seleucos the Babylonian».
63. ^ William P. D. Wightman (1951, 1953), *The Growth of Scientific Ideas*, Yale University Press p. 38, dove Wightman lo chiama Seleuco il Caldeano.
64. ^ Lucio Russo, *Flussi e riflussi*, Feltrinelli, Milano, 2003, ISBN 88-07-10349-4.
65. ^ Bartel, p. 527
66. ^ Bartel, pp. 527–9
67. ^ Bartel, pp. 529–34
68. ^ Bartel, pp. 534–7
69. ^ Seyyed H. Nasr, *An Introduction to Islamic Cosmological Doctrines*, 2nd, 1st edition by Harvard University Press, 2nd edition by State University of New York Press, 1st edition in 1964, 2nd edition in 1993, pp. 135–6, ISBN 0-7914-1515-5.
70. ^ Misner, Thorne and Wheeler (1973), p. 754.
71. Misner, Thorne, and Wheeler (1973), p. 755–756.
72. ^ Misner, Thorne, and Wheeler (1973), p. 756.
73. ^ (EN) de Cheseaux JPL, *Traité de la Comète*, Lausanne, 1744, pp. 223ff.. Riportato come nell'Appendice II ne (EN)

Dickson FP, *The Bowl of Night: The Physical Universe and Scientific Thought*, Cambridge, MA, M.I.T. Press, 1969, ISBN 978-0-262-54003-2.

74. ^ (EN) Olbers HWM, *Unknown title*, in *Bode's Jahrbuch*, vol. 111, 1826.. Riportato nell'Appendice I ne (EN) Dickson FP, *The Bowl of Night: The Physical Universe and Scientific Thought*, Cambridge, MA, M.I.T. Press, 1969, ISBN 978-0-262-54003-2.
75. ^ (EN) J. H. Jeans, *The Stability of a Spherical Nebula* (PDF), in *Philosophical Transactions Royal Society of London, Series A*, vol. 199, 312–320, 1902, pp. 1–53, Bibcode:1902RSPTA.199....1J, DOI:10.1098/rsta.1902.0012, JSTOR 90845. URL consultato il 17 marzo 2011 (archiviato dall'url originale il 20 luglio 2011).
76. ^ Rindler, p. 196; Misner, Thorne, and Wheeler (1973), p. 757.
77. ^ Misner, Thorne and Wheeler, p. 756.
78. (DE) A Einstein, *Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie*, in *Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte*, 1917, (part 1), 1917, pp. 142–152.
79. ^ Rindler (1977), pp. 226–229.
80. ^ Landau and Lifshitz (1975), pp. 358–359.
81. ^ (DE) A Einstein, *Zum kosmologischen Problem der allgemeinen Relativitätstheorie*, in *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-mathematische Klasse*, vol. 1931, 1931, pp. 235–237. (EN) Einstein A., de Sitter W., *On the relation between the expansion and the mean density of the universe*, in *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 18, n. 3, 1932, pp. 213–214, Bibcode:1932PNAS...18..213E, DOI:10.1073/pnas.18.3.213, PMC 1076193, PMID 16587663.
82. ^ (EN) Hubble Telescope news release (http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2004/12/text/). Hubblesite.org (2004-02-20). Retrieved on 2011-11-28.
83. ^ (EN) *Mysterious force's long presence*, in *BBC News*, 16 novembre 2006.
84. ^ (EN) Zel'dovich YB, *Cosmological constant and elementary particles*, in *Zh. Eksp. & Teor. Fiz. Pis'ma*, vol. 6, 1967, pp. 883–884. English translation in *Sov. Phys. — JTEP Lett.*, **6**, pp. 316–317 (1967).
85. ^ Hubble, Edwin, "A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae (http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-bib_query?bibcode=1929PNAS...15..168H&db_key=AST&data_type=HTML&format=&high=42ca922c9c30954)" (1929) *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Volume 15, March 15, 1929: Issue 3, pp. 168-173, communicated January 17, 1929 (Full article (http://www.pnas.org/cgi/reprint/15/3/168), PDF)
86. ^ Georges Lemaître, *Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radialee des nébuleuses extra-galactiques*, in *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, A47, 1927, pp. 49–56, Bibcode:1927ASSB...47...49L.. Partially translated (the translator remains unidentified) in Georges Lemaître, *Expansion of the universe, A homogeneous universe of constant mass and increasing radius accounting for the radial velocity of extra-galactic nebulæ*, in *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 91, 1931, pp. 483–490, Bibcode:1931MNRAS..91..483L..
87. ^ (DE) Friedman A., *Über die Krümmung des Raumes*, in *Zeitschrift für Physik*, vol. 10, n. 1, 1922, pp. 377–386, Bibcode:1922ZPhy...10..377F, DOI:10.1007/BF01332580.
88. ^ Munitz MK, *One Universe or Many?*, in *Journal of the History of Ideas*, vol. 12, n. 2, 1959, pp. 231–255, DOI:10.2307/2707516, JSTOR 2707516.
89. ^ Misner, Thorne and Wheeler (1973), p.753.
90. ^ Linde A., *Eternal chaotic inflation*, in *Mod. Phys. Lett.*, A1, n. 2, 1986, pp. 81–85, Bibcode:1986MPLA....1...81L, DOI:10.1142/S0217732386000129. Linde A., *Eternally existing self-reproducing chaotic inflationary Universe* (PDF), in *Phys. Lett.*, B175, n. 4, 1986, pp. 395–400, Bibcode:1986PhLB..175..395L, DOI:10.1016/0370-2693(86)90611-8. URL consultato il 17 marzo 2011.
91. ^ Tegmark M., *Parallel universes. Not just a staple of science fiction, other universes are a direct implication of cosmological observations*, in *Scientific American*, vol. 288, n. 5, 2003, pp. 40–51,

DOI:10.1038/scientificamerican0503-40, PMID 12701329.

92. ^ Tegmark, Max, *Parallel Universes*, in *In "Science and Ultimate Reality: from Quantum to Cosmos", honoring John Wheeler's 90th birthday. J. D. Barrow, P.C.W. Davies, & C.L. Harper eds. Cambridge University Press (2003)*, 2003, p. 2131, Bibcode:2003astro.ph..2131T, arXiv:astro-ph/0302131.
93. ^ Shape of the Universe (http://map.gsfc.nasa.gov/Universe/uni_shape.html), WMAP website at NASA.
94. ^ Jean-Pierre Luminet, Jeff Weeks, Alain Riazuelo, Roland Lehoucq, Jean-Phillipe Uzan, *Dodecahedral space topology as an explanation for weak wide-angle temperature correlations in the cosmic microwave background*, in *Nature*, vol. 425, n. 6958, 9 ottobre 2003, pp. 593–5, Bibcode:2003Natur.425..593L, DOI:10.1038/nature01944, PMID 14534579, arXiv:astro-ph/0310253.
95. ^ Boudewijn Roukema, Zbigniew Buliński, Agnieszka Szaniewska, Nicolas E. Gaudin, *A test of the Poincare dodecahedral space topology hypothesis with the WMAP CMB data*, in *Astronomy and Astrophysics*, vol. 482, n. 3, 2008, p. 747, Bibcode:2008A&A...482..747L, DOI:10.1051/0004-6361:20078777, arXiv:0801.0006.
96. ^ Ralf Aurich, Lustig, S., Steiner, F., Then, H., *Hyperbolic Universes with a Horned Topology and the CMB Anisotropy*, in *Classical and Quantum Gravity*, vol. 21, n. 21, 2004, pp. 4901–4926, Bibcode:2004CQGra..21.4901A, DOI:10.1088/0264-9381/21/21/010, arXiv:astro-ph/0403597.

Bibliografia

- Bartel, *The Heliocentric System in Greek, Persian and Hindu Astronomy*, in *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 500, n. 1, 1987, pp. 525–545, Bibcode:1987NYASA.500..525V, DOI:10.1111/j.1749-6632.1987.tb37224.x.
- Landau, Lev, Lifshitz, E.M., *The Classical Theory of Fields (Course of Theoretical Physics, Vol. 2)*, revised 4th English, New York, Pergamon Press, 1975, pp. 358–397, ISBN 978-0-08-018176-9.
- Liddell, H. G. and Scott, R. *A Greek-English Lexicon*, Oxford University Press, ISBN 0-19-864214-8
- Misner, C.W., Thorne, Kip, Wheeler, J.A., *Gravitation*, San Francisco, W. H. Freeman, 1973, pp. 703–816, ISBN 978-0-7167-0344-0.
- Rindler, W., *Essential Relativity: Special, General, and Cosmological*, New York, Springer Verlag, 1977, pp. 193–244, ISBN 0-387-10090-3.

Altre letture

- Weinberg, S., *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*, 2nd updated, New York, Basic Books, 1993, ISBN 978-0-465-02437-7, OCLC 28746057. For lay readers.
- Harry Nussbaumer, Lydia Bieri e Allan Sandage, *Discovering the Expanding Universe*, Cambridge University Press, 2009, ISBN 978-0-521-51484-2.

Voci correlate

- Big Bang
- Big Crunch
- Big Bounce
- Big Rip

- Cosmologia (astronomia)
- Cronologia del Big Bang
- Destino ultimo dell'universo
- Forma dell'universo
- Multiverso
- Panspermia
- Principio di conservazione
- Storia dell'universo
- Struttura a grande scala dell'universo
- Dimensione parallela

Altri progetti

- Wikiquote contiene citazioni sull'**universo**
- Wikibooks contiene testi o manuali sull'**universo**
- Wikizionario contiene il lemma di dizionario «**universo**»
- Wikimedia Commons (https://commons.wikimedia.org/wiki/?uselang=it) contiene immagini o altri file sull'**universo (https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Universe?uselang=it)**

Collegamenti esterni

-
- *Universo*, su *Treccani.it – Enciclopedie on line*, Istituto dell'Enciclopedia Italiana.
- (EN) *Universo* / *Universo (altra versione)*, su *Enciclopedia Britannica*, Encyclopædia Britannica, Inc.
- (EN) *Universo*, su *The Encyclopedia of Science Fiction*.
- (EN) *Opere riguardanti Universo* / *Universo (altra versione)*, su *Open Library*, Internet Archive.
- (EN) *Pagina sull'età dell'universo*, su *space.com*.
- Universo (http://www.disf.org/Voci/120.asp) una voce del dizionario DISF (https://web.archive.org/web/20131013231445/http://www.disf.org/default.asp) che affronta il tema sotto diversi punti di vista
- *La prima immagine dell'Universo "scattata" dal telescopio Planck*, su *daringtodo.com*. URL consultato il 25 marzo 2011 (archiviato dall'url originale il 19 giugno 2011).
- (EN) Cary and Michael Huang, *Scale of Universe*, su *htwins.net*. Mappa interattiva dell'Universo.
- (EN) *Stephen Hawking's Universe* (http://www.pbs.org/wnet/hawking/html/home.html) – Why is the Universe the way it is?
- (EN) *Cosmology FAQ*, su *astro.ucla.edu*.
- (EN) *Cosmos – An "illustrated dimensional journey from microcosmos to macrocosmos"*, su *shekpvar.net*. URL consultato il 1º aprile 2012 (archiviato dall'url originale il 12 aprile 2008).
- (EN) *Illustration comparing the sizes of the planets, the sun, and other stars*, su *co-intelligence.org*.
- (EN) My So-Called Universe (https://web.archive.org/web/20101225211703/http://www.slate.com/id/2087206/nav/navoa/) – Arguments for and against an infinite and parallel universes
- (EN) The Dark Side and the Bright Side of the Universe (http://cosmology.lbl.gov/talks/Ho_07.pdf) Princeton University, Shirley Ho

- (EN) Richard Powell: *An Atlas of the Universe* (https://web.archive.org/web/20150718054637/http://www.atlasoftheuniverse.com/) – Images at various scales, with explanations
- (EN) *Multiple Big Bangs*, su *npr.org*. URL consultato il 1º aprile 2012 (archiviato dall'url originale il 3 marzo 2016).
- (EN) *Universe – Space Information Centre*, su *exploreuniverse.com*.
- (EN) Exploring the Universe (https://web.archive.org/web/20130417083030/http://www.nasa.gov/topics/universe/index.html) at Nasa.gov
- *Universo*, in *Treccani.it – Enciclopedie on line*, Istituto dell'Enciclopedia Italiana.
- (IT) Quanto piccoli siamo rispetto all'universo (http://video.corriere.it/ecco-quanto-siamo-piccoli-rispetto-all-universo/92fa7e58-5a9a-11e6-bfed-33aa6b5e1635)

Video

- (EN) The Known Universe (https://www.youtube.com/embed/17jymDn0W6U) dall'American Museum of Natural History
- (EN) Understand The Size Of The Universe (https://www.youtube.com/embed/0fKBhvDjuy0) – dal documentario *Powers of Ten*
- (EN) *3-D Video (01:46) – Over a Million Galaxies of Billions of Stars each – BerkeleyLab/animated*, su *youtube.com*.

Controllo di autorità	Thesaurus BNCF 7239 (https://thes.bncf.firenze.sbn.it/termine.php?id=7239) · GND (DE) 4079154-3 (https://d-nb.info/gnd/4079154-3) · NDL (EN, JA) 00574074 (https://id.ndl.go.jp/auth/ndlna/00574074)

Estratto da "https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Universo&oldid=114396555"